

## О МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПРОТИВОБОКСОВОЧНОЙ ЗАЩИТЫ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТЕПЛОВОЗОВ

В настоящее время на железных дорогах СНГ эксплуатируется более 10000 тепловозов различных типов. В подавляющем большинстве они построены по одной схеме: тяговые электродвигатели (ТЭД) постоянного тока с последовательным возбуждением питаются от тягового генератора (ТГ) переменного тока через диодную выпрямительную установку (ВУ). На более старых моделях применялся ТГ постоянного тока. Эффект боксования одной или нескольких колёсных пар (КП) значительно снижает тяговое усилие (а следовательно, и вес состава), по некоторым данным [1,2], на 15÷30%. Эта проблема особенно остро проявляется в России, где ключевым направлением повышения пропускной способности грузового движения было выбрано направление на увеличение весовой нормы поезда. Магистральные грузовые локомотивы эксплуатируются при неблагоприятных климатических условиях с тяжёлыми затяжными подъёмами с весовой нормой поезда до 6000 тонн. В таких условиях работа локомотива происходит в области, близкой к ограничению по сцеплению и, зачастую, в интенсивных и даже в недопустимых режимах эксплуатации.

На большинстве эксплуатируемых тепловозов имеется противобоксовочная защита (ПБЗ) на основе релейных схем (типичный пример: 2ТЭ116), которые реагируют на разность напряжений на обмотках возбуждения (ОВ) ТЭД боксующей и небоксующей КП в начале боксования. В общем случае прекращение возникшего боксования достигается двумя путями: подсыпкой песка в зону контакта колеса и рельса и снижением напряжения на выходе ТГ, т.е. снижением общего тягового усилия. Это приводит к замедлению движения всего состава, снижению скорости и пропускной способности путей, перерасходу топлива, а в некоторых случаях, и к снижению весовой нормы состава на сложных участках.

На современных тепловозах (например: 2ТЭ116У, ТЭП150) применяется управляемая тиристорная ВУ, позволяющая снижать напряжение на ТЭД независимо любой боксующей КП. Используя информацию от датчиков скорости и датчиков тока, установленных в цепи каждого ТЭД, микропроцессорная система управления (МСУД) по заданному алгоритму осуществляет ПБЗ тепловоза, снижая напряжение на боксующем ТЭД.

Однако модернизация эксплуатируемых тепловозов с переходом на управляемые ВУ по техническим и экономическим факторам весьма маловероятна.

В связи с этим целесообразно рассмотреть и другие возможные решения по ПБЗ.

В силу особенностей электропередачи, процесс боксования чаще возникает и зачастую носит разностный характер у электровозов. Поэтому именно у электровозостроителей накоплен значительный опыт разработки и внедрения систем противобоксовочной защиты (ПБЗ). Наиболее современные и перспективные решения, уже опробованные и хорошо себя зарекомендовавшие на электровозах мы и предлагаем использовать на тепловозах.

Необходимого эффекта для прекращения боксования, помимо подсыпки песка, можно достичь: шунтированием якоря специальным резистором, шунтированием обмотки возбуждения индуктивным шунтом, переводом двигателей последовательной цепи с ослабленного на полное возбуждение, усилением магнитного потока путём подпитки обмотки возбуждения двигателя боксующей оси, введением в цепь двигателя боксующей оси специального резистора, включением уравнителей возбуждения.

Ещё одним способом борьбы с боксованием локомотива с ТЭД постоянного тока является конденсаторный накопитель, включаемый параллельно обмотке возбуждения (ОВ) ТЭД. При срыве КП в боксование скорость её увеличивается, ток якоря снижается, а накопитель энергии разряжается через ОВ, поддерживая ток возбуждения. За счёт этого повышается жёсткость тяговой характеристики боксующей оси и ограничивается скорость проскальзывания колёс. Главным недостатком такого решения является высокая стоимость специальных сверхъёмких конденсаторных накопителей.

В [4] рассматривается способ повышения тока возбуждения шунтированием якоря ТЭД. Приведены результаты моделирования процессов возникновения боксования и реакции системы на них. Графики подтверждают эффективность такого способа, но практического применения он пока не нашёл.

Наиболее перспективным с точки зрения простоты включения системы ПБЗ в схемы ремонтируемых тепловозов является система с усилением магнитного потока путём подпитки обмотки возбуждения двигателя боксующей оси.

Как показали рассмотренные в [1] сравнительные испытания различных систем ПБЗ, некоторое снижение быстродействия ПБЗ на основе подпитки ОВ по сравнению с ПБЗ с поосным регулированием напряжения на каждом ТЭД, не является существенным.

Система ПБЗ электровозов 2ЭС4К, также прошедшая полный комплекс испытаний на полигонах ВЭЛНИИ и на дорогах РФ, в качестве исполнительного механизма использует усиление магнитного потока путём подпитки обмотки возбуждения двигателя боксующей оси.

Это решение хорошо зарекомендовало себя на электровозах, разрабатываемых ВЭЛНИИ последние годы, например, на 2ЭС4К (с 2006 г. выпущено более 150 шт.), на 2ЭС6К («Синара», 250 шт.) и др.

Система состоит из модулей ПБЗ, устанавливаемых на тепловозе и соединённых минимальным количеством кабелей со схемой локомотива. Как видно из графиков токов якоря и скорости вращения КП, представленных в [3], существует чёткая и однозначная зависимость между токами и скоростями. Это позволяет построить систему ПБЗ, используя только высоконадёжные датчики тока. Используя информацию от датчиков тока якоря каждого ТЭД, система ПБЗ будет надёжно выделять возникновение боксования любой оси и, поддерживая нужный ток в ОВ, будет парировать боксование этой КП, не снижая при этом тягового усилия на остальных осях локомотива. Это положительно отличает предлагаемую систему от существующих на 2ТЭ116 систем ПБЗ, которые при выявлении боксования снижают мощность на выходе тягового генератора (ТГ), что приводит к снижению силы тяги локомотива, что нежелательно, особенно во время преодоления затяжного подъёма тяжёлым составом. При этом отпадает необходимость в тиристорной ВУ, со всеми её недостатками. Тепловоз оснащается простой, надёжной и энергоэффективной диодной тяговой ВУ, обеспечивающей все режимы работы. И только в моменты возникновения боксования в процесс включается система ПБЗ.

На рис.1 приведена одна из возможных схем силовой части системы. Регуляторы системы ПБЗ настраиваются на поддержание в ОВ боксующего ТЭД тока, равного максимальному из токов якорей двигателей локомотива, т.е.:

$$I_{\text{задан.подпит.}} = I_{\text{тах якор}} - I_{\text{бокс. якор}}$$

Ток подпитки измеряется датчиками тока В11, В13, ... В19, В111. Токи якорей ТЭД измеряются датчиками тока В12, В14, ... В110, В112.

Алгоритм ПБЗ предусматривает изменение скважности подачи песка в зависимости от времени боксования и от скорости скольжения. После прекращения боксования песок подаётся ещё 2 секунды, что способствует дополнительной стабилизации сцепления.

Наличие активной электронной системы ПБЗ не исключает подсыпку песка под боксующие КП, которая может производиться как вручную машинистом, так и автоматически, по командам от системы ПБЗ.

Применение на тепловозах диодными выпрямителями или ТГ постоянного тока системы ПБЗ с подпиткой ОВ позволяет:

- при всех режимах работы поддерживать максимально возможные тяговые свойства локомотива, используя проверенные в электровозостроении алгоритмы работы ПБЗ;
- увеличить срок службы КП, бандажей, рельсового пути за счёт снижения частоты вращения двигателей и исключения разносного боксования;
- автоматически выявлять начало процесса боксования и управлять подсыпкой песка под боксующие КП;
- в случае развития процесса боксования подпитывать ОВ ТЭДа боксующей оси, поддерживая ток в ОВ равным максимальному из токов якорей ТЭД, снижая, тем самым, скорость вращения боксующей оси до момента прекращения боксования;
- исключить влияние человеческого фактора на управление процессами борьбы с боксованием;
- качественно упростить работу машиниста.

В связи с этим, представляется целесообразным изготовить и испытать в реальных условиях эксплуатации на опытном образце тепловоза описанную систему ПБЗ. В случае получения положительных результатов возникнут предпосылки для модернизации эксплуатируемого парка тепловозов.

#### Литература

1. Труды ЦНИИ МПС. Выпуск 396, 1969г. «Автоматическое регулирование возбуждения ТЭД для повышения сцепления локомотивов», Г.В. Фаминский, Н.Н. Меншутин.
2. Минов Д.К. «Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электропередачей», 1965г.
3. Калужный А.А., к.т.н. Хоменко Б.И. «Совершенствование противобоксовочной защиты электровозов 2(3)ЭС5К», 2012г.
4. Андриенко П.Д., Шило С.И., Каплиенко А.О., Немудрый И.Ю. «Исследование переходных режимов при последовательном соединении серийных электродвигателей постоянного тока». Электротехника и электроэнергетика №1, 2009.

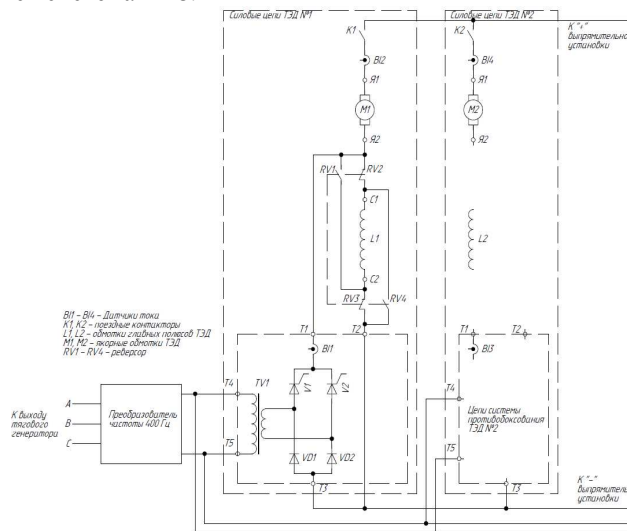


Рис. 1 –Схема включения системы ПБЗ